

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.193.01  
(Д 002.110.02), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 05.06.2024г. № 4

О присуждении Трухачёву Фёдору Михайловичу, гражданину Республики Беларусь ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Взаимодействие солитонов акустического типа с заряженными частицами в плазме» по специальности 1.3.9 – физика плазмы принята к защите 28.02.2024 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 86/нк от 26.01.2022г.

Соискатель Трухачёв Фёдор Михайлович 1977 года рождения, в 1999 году с отличием окончил Белорусское государственное учреждение высшего образования «Могилевский государственный университет им А. Кулешова». В 2008 году окончил очную аспирантуру Государственного научного учреждения «Институт физики имени Б.И.Степанова Национальной академии наук Беларуси».

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук на тему: «Влияние неустойчивостей плазмы на процессы ее нагрева и переноса заряженных частиц» по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы» защитил 11 ноября 2008 г. в диссертационном совете Д 01.05.01 при государственном научном учреждении «Институт Физики им.

Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси».

Работает в должности старшего научного сотрудника лаборатории № 17.3 активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук».

Диссертация выполнена в лаборатории № 17.3 активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией плазменно-пылевых процессов в космических объектах Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук» (ИКИ РАН) Попель Сергей Игоревич.

- доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики I физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ) Карасев Виктор Юрьевич.

- доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (РФЯЦ - ВНИИЭФ) Дубинов Александр Евгеньевич.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) в своем положительном заключении, составленном в.н.с., д.ф.-м.н. Новопашиным С.А. (утвержденном 06.05.2024 г. директором академиком РАН Марковичем Д.М.) указала, что научная значимость работы состоит в расширении существующих представлений о волновых плазменных явлениях. В диссертационной работе

детально исследовано свойство плазменных солитонов акустического типа, которое заключается в одностороннем переносе (смещении) заряженных частиц, причем этим свойством нельзя пренебрегать при малых амплитудах волн. Предложен механизм этого явления. Установленный факт одностороннего переноса вещества солитонами имеет следствия: во-первых, солитоны должны возмущать функции распределения заряженных частиц (которые становятся несимметричными в областях плазмы, населенных солитонами), во-вторых, солитоны должны возбуждать электрические токи в плазме с ненулевой постоянной составляющей (солитонные токи). Также, в рамках диссертации представлены исследования, развивающие теорию диссипативных солитонов. В частности, приведены методики расчета величины тепловыделения, динамики заряженных частиц внутри профиля волны. Рассмотрен процесс рассеяния заряженных частиц диссипативным солитоном. Открыт новый тип колебательного процесса, индуцируемого диссипативными солитонами. Указанные результаты подтверждают научную значимость работы.

Прикладная значимость работы заключается в развитии методов плазменной диагностики и в интерпретации экспериментальных данных. В частности, в рамках представленных исследований был разработан новый подход для оценки радиуса Дебая в пылевой плазме, проведена интерпретация экспериментальных данных с использованием созданных теоретических моделей. Кроме того, полученные результаты могут быть полезны при интерпретации экспериментальных данных, полученных с космических аппаратов из областей активной космической плазмы, в которой возбуждаются коллективные процессы за счет энергии внешних источников.

По материалам диссертации возникли следующие замечания и вопросы:

1. В диссертации все разрабатываемые модели и расчеты проведены для одномерного случая или плоской волны. При этом в работе не обсуждаются критерии применимости такого подхода к реальным природным и лабораторным экспериментальным ситуациям. Насколько применим такой

подход к исследуемым в работе явлениям и в каких случаях необходимо дальнейшее развитие представленных моделей?

2. В связи с открытым в диссертации явлением переноса вещества солитонами возникают следующие вопросы: откуда берется энергия для переноса вещества, теряет ли солитон свою энергию (амплитуду) при переносе вещества, как происходит сохранение импульса в системе при смещении (центра масс) вещества в пространстве?

3. Помимо полученных аналитических выражений в предельных случаях большая часть диссертационной работы посвящена численным расчетам исследуемых явлений. При этом в тексте диссертации зачастую не приводятся подробности по используемым численным методам, параметрам дискретизации пространства, времени и граничных условий, критериям устойчивости схем и др.

4. При проведении сравнения результатов разработанной пыле-акустической модели и имеющихся экспериментальных данных по волнам в пылевой газоразрядной плазме в диссертации не уделено должного внимания влиянию распределения пылевых частиц по размеру в пылевом облаке, что особенно актуально для экспериментов с криогенной газоразрядной плазмой, описанными в Главе 4, где в пылевом облаке в процессе распыления диэлектрической вставки в разряде образуются частицы размерами несколько нанометров?

5. Как влияет естественный процесс флуктуации заряда пылевой частицы на полученные в диссертации результаты, ведь известно, что для частиц нанометрового размера флуктуация заряда может составлять до 100%.

6. В тексте диссертации присутствуют грамматические ошибки и опечатки, в частности, в Оглавлении в п.1.3.3., п. 4.2, п. 4.2.2. и в других местах.

Результаты работы апробированы на 35 российских и международных конференциях. Соискатель имеет 70 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных

изданиях опубликовано 25 работ (23 из списка ВАК):

1. Volosevich A.V., Galperin Yu.I., Truhachev F.M. Theoretical models of localized electrostatic structures in the auroral magnetosphere // *Adv. Space Res.* – 2002. -V. 30(7). – P. 1677-1680.
2. Volosevich A.V., Truhachev F.M., Galperin Yu.I. Localized nonlinear electrostatic structures in the magnetosphere // *International J. Geomagnetism and Aeronomy.* – 2003. – V. 4(3). – P. 195–199.
3. Simonchik L.V., Truhachev F.M. Solitary model of the charge particle transport in the collisionless plasma // *Probl. At. Sci. Technol., Ser.: Plasma Phys.* (серия 13). – 2007. – № 1. – P. 49.
4. Arkhipenko V.I., Gusakov E.Z., Simonchik L.V., Truhachev F.M. Suppression and feedback control of anomalous induced backscattering by pump–frequency modulation // *Phys. Rev. Letter.* – 2008. – Vol. 101. – P. 175004.
5. Arkhipenko V.I., Gusakov E.Z., Simonchik L.V., Truhachev F.M. Resonant suppression and feedback control of anomalous induced backscattering by the pump frequency modulation. *Plasma Phys. Control. Fusion.* – 2009. – V. 51. – P. 125005.
6. Трухачев Ф.М., Томов А.В. Электрические токи в плазме, индуцированные солитонами // *Космические исследования.* – 2016. – Т. 54(5). – С. 377 – 383.
7. Трухачев Ф.М., Томов А.В., Могилевский М.М., Чугунин Д.В. Электрические токи, индуцированные в плазме ионно-звуковыми солитонами: учет захваченных электронов // *Письма в ЖТФ.* – 2018. – Вып. 11. – С. 87.
8. Трухачёв Ф.М., Васильев М.М., Петров Ф.М., Севрюгов Е.Ю. Анализ пыле-акустических солитонов с учётом самосогласованного заряда пылевых частиц с использованием рядов Тейлора и функции Ламберта // *Вестник ОИВТ РАН.* – 2018. – Т. 1. – С. 26.
9. Петров О.Ф., Трухачёв Ф.М., Васильев М.М., Герасименко Н.В. Крупномасштабный перенос заряженных макрочастиц, индуцированный пыле-акустическими солитонами // *ЖЭТФ.* – 2018. – Т. 153(6). – С. 1012.

10. Trukhachev F.M., Petrov O.F., Vasiliev M.M., Sevryugov E.Yu. A new approach to analysis of dust-acoustic solitons with a self-consistent charge of dust particles // *J. Phys. A: Math. Theor.* – 2019. – V. 52. – P. 345501.
11. Trukhachev F.M., Vasiliev M.M., Petrov O.F., Vasilieva E.V. Dust-acoustic soliton breaking and the associated acceleration of charged particles // *Phys. Rev. E.* – 2019. – V. 100. – P. 063202.
12. Трухачев Ф.М., Васильев М.М., Петров О.Ф. Солитонные токи (обзор) // *ТБТ.* – 2020. – Т. 58 (4). – С. 563–583.
13. Trukhachev F.M., Petrov O.F., Vasiliev M.M., Tomov A.V. Relationship between the dust-acoustic soliton parameters and the Debye radius // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2020. – V. 1556. – P. 012073.
14. Gerasimenko N.V., Trukhachev F.M., Gusakov E.Z., Simonchik L.V., Tomov A.V. One-dimensional nonlinear parametric instability of inhomogeneous plasma: time domain problem // *Nonlinear Phenomena in Complex Systems.* – 2021. – V. 24 (3) – P. 272.
15. Trukhachev F.M., Vasiliev M.M., Petrov O.F., Vasilieva E.V. Microdynamic and thermodynamic properties of dissipative dust-acoustic solitons // *J. Phys. A: Math. Theor.* – 2021. – V. 54. – P. 095702.
16. Trukhachev F.M., Gerasimenko N.V., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Elastic and inelastic particles scattering by dust acoustic soliton. A new oscillatory process in dusty plasma // *New J. Phys.* – 2021. – V.23. – P. 093016.
17. Trukhachev F.M., Boltnev R.E., Alekseevskaya A.A., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Dust-acoustic waves in weakly coupled (gaseous) cryogenic dusty plasma // *Phys. Plasmas.* – 2021. – V.28. – P.093701.
18. Трухачев Ф.М., Васильев М.М., Петров О.Ф. Влияние ионно-звуковых солитонов на функции распределения фоновой плазмы // *Физика плазмы.* – 2022. – Т. 48(10). – С. 967.
19. Trukhachev F.M., Boltnev R.E., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Dust-acoustic nonlinear waves in a nanoparticle fraction of ultracold (2K) multicomponent dusty plasma // *Molecules.* – 2022. – V. 27. – P. 227.

20. Boltnev R.E., Kononov E.A., Trukhachev F.M., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Synthesis of nanoclusters and quasy one-dimensional structures in glow discharge at  $T \approx 2$  K // Plasma Sources Sci. Technol. – 2020. – V. 29. – P. 085004.

21. Трухачёв Ф.М., Герасименко Н.В., Васильев М.М., Петров О.Ф. Особенности функций распределения по скоростям и энергиям для пылевой фракции в присутствии пыле-акустического солитона // Вестник ОИВТ РАН. – 2022. – Т. 7. – С.15.

22. Трухачёв Ф.М., Болтнев Р.Е., Алексеевская А.А., Васильев М.М., Петров О.Ф. Нелинейные пыле-акустические волны в околоидеальной (газоподобной) криогенной пылевой плазме тлеющего разряда // Физика плазмы. – 2023. – Т. 49(1). – С. 1-7.

23. Trukhachev F.M., Gerasimenko N.V., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Unidirectional transport of ions and perturbation of plasma distribution functions by ion-acoustic solitons: Numerical simulation and analytical solution // Physics of Plasmas. – 2023, – 30(2). – P. 022113.

24. Трухачев Ф.М., Герасименко Н.В., Васильев М.М., Петров О.Ф. Возмущенная ионно-звуковыми солитонами функция распределения по скоростям ионов плазмы: аналитический расчет на базе КдВ-уравнения // Физика плазмы. – 2023. – Т. 49(10). – С. 975–981.

25. Trukhachev F.M., Gerasimenko N.V., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Matter transport as fundamental property of acoustic solitons in plasma // Phys. Plasmas. – 2023. – V. 30. – P. 112302.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси»**, (д.ф.-м.н., член-корреспондент НАН Беларуси Тарасенко Н.В.) – отзыв положительный, содержит 2 замечания

- Волновой перенос вещества исследован на основе уравнения Кортевега – Де

Вриза (КдВ), которое является довольно универсальным математическим инструментом. Тем не менее, из содержания автореферата не понятно, ограничиваются ли полученные результаты плазменными волнами или имеют общий характер.

- В работе используются одновременно термины «коллоидная плазма» и «пылевая плазма» для описания плазмы, содержащей пылевые частицы.

**2. Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»** (д.ф.-м.н., Трушкин Н.И.) – отзыв положительный, содержит два замечания:

- Автором рассмотрены не все типы плазменных солитонов. В частности, в поле зрения автора не попали альфвеновские солитоны и магнитозвуковые солитоны (последние также имеют акустическую природу).

- При рассмотрении механизма переноса ионов электрическим полем ионно-звуковых солитонов автор рассматривает пробный ион. Возникает вопрос о правомерности такого подхода, так как солитоны автором описываются в рамках гидродинамического подхода, в котором нет отдельных или пробных ионов.

**3. Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси»** (д.ф.-м.н., член-корреспондент НАН Беларуси Асташинский В.М.) – отзыв положительный, без замечаний.

**4. Акционерное общество «Казахстанско-Британский технический университет» КБТУ** (д.ф.-м.н., профессор Габдуллин М.Т.) – отзыв положительный, содержит одно замечание:

- В четвертой главе автор описывает плазменно-пылевую структуру, которая находится в состоянии с экстремально низким значением параметра



неидеальности ( $\Gamma < 1$ ). Физический механизм, переводящий пылевую плазму в околоидеальное состояние не раскрыт.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим образом:

- д.ф.-м.н., профессор Попель Сергей Игоревич является ведущим ученым в области физики нелинейных плазменных волн и солитонов, астрофизики, физики пылевой плазмы. Область его научных интересов полностью соответствует научным интересам автора диссертации. Основные публикации Пополя С.И.:

1. Копнин С. И., Шохрин Д. В., Попель С. И. Пылевые звуковые солитоны в запыленной магнитосфере Сатурна // Физика плазмы. – 2022. – Т. 48. – № 2. – С. 163.;
2. Morozova T. I., Kopnin S. I., Popel S. I., Borisov N. D. Some aspects of modulational interaction in Earth's dusty ionosphere // Physics of Plasmas. – 2021. – V. 28(3). – P. 033703.;
3. Копнин С. И., Морозова Т. И., Попель С. И. Волновые процессы в пылевой плазме над Фобосом и Деймосом // Физика плазмы. – 2019. – V. 45. – №.9. – P. 831.

- д.ф.-м.н., г.н.с. Дубинов Александр Евгеньевич является признанным специалистом в области физики плазменных волн и солитонов, физики плазмы, астрофизики и теоретической физики. Его публикации использовались автором в своей диссертационной работе. Основные публикации Дубинова А.Е.:

1. Дубинов А.Е., Сулова О.В. Возможны ли гиперзвуковые электростатические солитоны? Оценка предельных чисел Маха ионно-звуковых солитонов в теплой плазме // ЖЭТФ. – 2020. – Т. 158(5). – С. 968.;
2. Dubinov A.E. Gas-dynamic approach to the theory of non-linear ion-acoustic waves in plasma with Kaniadakis' distributed species // Advances in Space

Research. – 2023. – V. 71(1). – P. 1108.;

3. Dubinov A.E., Lebedeva X.I. Ambiplasma separation into matter and antimatter by a train of baryon-acoustic solitons in the problem of the baryon asymmetry of the Universe // Chaos Solitons & Fractals. – 2021. – V. 152(2). – P. 111391.

- д.ф.-м.н., профессор Карасёв Виктор Юрьевич является ведущим учёным в области физики пылевой плазмы, плазменной диагностики, физики тлеющего разряда. Его исследования в указанных областях соответствуют вопросам, рассматриваемым в диссертации. Основные публикации Карасёва В. Ю.:

1. Kartasheva A.A., Golubovskii Y.B., Karasev V.Y. The vibrational properties of the dust trap created in standing striation // Contributions to Plasma Physics. – 2019. – V. 59. – №. 4-5. – P. e201800170.;

2. Golubovskii Y., Karasev V., Siasko A.A. About the photoemission of electrons from the surface of a spherical dust particle in gas discharge plasma // Plasma Sources Science and Technology. – 2021. – V. 30. – P. 065030.

3. Karasev V.Yu. Dzhlieva E.S., D'yachkov L.G., Novikov L.A., Pavlov S.I. Dusty Plasma in Inhomogeneous Magnetic Fields in a Stratified Glow Discharge // Molecules. – 2021. – V.26(13). – P.3788.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) является профильной организацией, в том числе специализирующейся на проведении исследований в области физики плазмы, термодинамики, строения вещества и структуры твёрдых тел. При этом особое внимание уделяется изучению процессов, протекающих в пылевой плазме. Все эти направления соответствуют тематике диссертации. Основные публикации:

1. Salnikov M., Sukhinin G. Influence of the Dust Particle Shape on the Wake Formation in a Complex Plasma // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2021. – V. 49. – №. 9. – С. 2583-2588;

2. Salnikov M.V., Sukhinin G.I., Spatial velocity distribution around an endless chain of spherical dust particles // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – V. 1677. – № 1. – С. 012155.;
3. Salnikov M.V., Fedoseev A.V., Sukhinin G.I. Plasma parameters around a chain-like structure of dust particles in an external electric field. // Molecules. – 2021. – V. 26. – №. 13. – С. 3846.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

– Разработан аналитический метод исследования нелинейных пыле-акустических волн в коллоидной плазме, учитывающий самосогласованный заряд пыли. Главное его преимущество заключается в использовании только аналитических функций.

– Построена теоретическая модель формирования ультрамедленных пыле-акустических солитонов в коллоидной плазме. Определены области плазменных параметров при которых могут существовать пыле-акустические солитоны со скоростями близкими к нулю (псевдо стоячие солитоны). Установлено, что такие солитоны способны вызывать сильное возмущение пылевой концентрации и представлять интерес с прикладной точки зрения (в частности, в новых методах плазменной диагностики).

– Разработан простой бесконтактный метод оценки радиуса Дебая в коллоидной плазме, содержащей нелинейные пыле-акустические волны и солитонами, основанный только на анализе изображений пылевых облаков. Преимущество нового метода состоит в отсутствии необходимости использования зондов, спектрометрии и др. Показано, что солитоны и сильно нелинейные волны в некотором смысле можно рассматривать как универсальные маркеры для оценки дебаевского радиуса в пылевой плазме.

– Детально исследовано свойство плазменных солитонов акустического типа, заключающееся в однонаправленном переносе (смещении) заряженных частиц. С использованием КдВ уравнения найдена явная аппроксимация

величины (дистанции) переноса вещества как функция амплитуды солитона.

– Открыт новый механизм возбуждения электрических токов в плазме, который связан с односторонним перемещением заряженных частиц солитонами акустического типа. Детально исследованы токи, индуцируемые солитонами. В частности, показано, что такие токи имеют импульсный характер с ненулевой постоянной составляющей.

– Исследовано влияние ионно-звуковых солитонов на функции распределения по скоростям для ионов в приближении холодной плазмы. Получена аналитическая формула для расчета возмущенных функций распределения.

– Проанализированы микродинамические и термодинамические свойства диссипативных пыле-акустических солитонов. Определена роль диссипации в упорядочивании траекторий заряженных частиц. Построена модель для расчета величины тепловыделения, связанного с движением диссипативных пыле-акустических солитонов. Результаты будут полезны при анализе энергетического баланса автоволновых процессов в плазме.

– Теоретически предсказан новый колебательный процесс, возбуждаемый диссипативными солитонами в пылевой плазме. Механизм колебательного процесса связан с электростатическим взаимодействием пылевых заряженных частиц с передним фронтом диссипативного пыле-акустического солитона. Предложена концепция упругого и неупругого рассеяния заряженных пылевых частиц передним фронтом пыле-акустических солитонов. Результаты могут быть использованы для развития методов плазменной диагностики.

**Теоретическая значимость исследований** заключается в развитии физики плазменных волн и диссипативных структур и обоснована тем, что:

– Детально исследовано свойство плазменных солитонов акустического типа, которое заключается в одностороннем переносе (смещении) заряженных частиц, причем этим свойством нельзя пренебрегать при малых амплитудах волн (в отличие от, хорошо известного, явления дрейфа Стокса,

описывающего дрейф вещества под действием периодических волн конечной амплитуды). Раскрыт механизм явления, который является предельным случаем Стоксового механизма переноса.

– Детально исследованы электрические плазменные токи, индуцируемые солитонами акустического типа. Показано, что солитонные токи имеют импульсную структуру с ненулевой постоянной составляющей. Такие токи могут иметь значимое влияние на динамику космической плазмы, часто населенную большими группами последовательно движущихся солитонов.

– В рамках модели холодной плазмы рассчитаны, возмущенные солитонами акустического типа, функции распределения по скоростям и энергиям для заряженных частиц плазмы.

– Предложен новый метод анализа пыле-акустических солитонов, учитывающий самосогласованный заряд пылевых частиц.

– Предсказан новый тип колебаний, возникающих при движении пыле-акустических солитонов в диссипативной среде.

– Раскрыты новые термодинамические свойства плазмы, содержащей диссипативные пыле-акустические солитоны.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что:

– Разработанный бесконтактный метод определения радиуса Дебая в пылевой плазме может сравнительно просто применяться и уже применялся для определения плазменных параметров в криогенных условиях ( $T_{He}=2K$ ) при дефиците стандартных диагностических методов. В частности, определен радиус Дебая и температура ионов, которая, как оказалось, на порядок превосходила температуру ионов буферного газа.

– В результате анализа солитонных токов разработаны требования к пространственному и временному разрешению измерительных приборов (в том числе космических) для измерения токовых процессов в космической плазме, населенной уединенными волнами различной природы.

– Результаты анализа процессов рассеяния заряженных частиц солитонами

могут применяться и уже применялись для оценки плазменных параметров, таких как электрические поля и коэффициенты вязкости в пылевой плазме.

**Оценка достоверности результатов** связана с тем, что проведенные исследования основаны на проверенных аналитических методах и численных алгоритмах. В частности, использовались гидродинамические методы, метод псевдопотенциала Сагдеева, уравнение Кортевега - Де Вриза, одночастичное приближение, метод линеаризации, Эйлера и Лагранжево описание движения, эргодическая гипотеза, алгоритм Рунге Кутты для численного интегрирования обычных дифференциальных уравнений. Кроме того, исследования опираются на многолетний научный опыт и традиции, что отражено в списке использованных литературных источников. Часть результатов удалось проверить на опыте.

**Личный вклад соискателя** является определяющим и состоит в постановке задач, разработке новых теоретических методов и теоретических моделей для анализа свойств нелинейных волн и солитонов. Значительная часть этой работы была проделана соискателем самостоятельно или при определяющей его роли.

Апробация результатов исследования проведена на 30-ти российских и международных конференциях и симпозиумах, а также на научных семинарах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии диссертанта. В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Трухачёв Фёдор Михайлович ответил на все заданные ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

На заседании от 05.06.2024 г. диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, присудить Трухачёву Фёдору Михайловичу ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет 24.1.193.01 (Д 002.110.02) в количестве 23 человек, из них очно: 8 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 2 доктор наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 23, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

д.ф.-м.н., профессор, академик РАН

Петров О. Ф.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01(Д 002.110.02)

к.ф.-м.н.

Тимофеев А.В.

05.06.2024г.